

УДК 637.133.3:66.022.393

ПРОГНОЗ ДЕНАТУРАЦИИ СЫВОРОТОЧНЫХ БЕЛКОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА ПАСТЕРИЗАЦИИ

Корлюк С.С., к.б.н.,

Сеник В. Б., инж.

Одесский государственный аграрный университет

Тел. (0619) 42-04-42

Аннотация – в основу пастеризатора молока положен гидродинамический нагреватель – устройство, которое превращает энергию турбулентной затопленной струи жидкости в тепловую энергию (нагревание молока), что обеспечивает уничтожение бактерий и вирусов всех форм, одновременно осуществляет кавитационную обработку для повышения пищевой ценности молока.

Ключевые слова – пастеризация, гидродинамический нагреватель, денатурация сыворочных белков.

Постановка проблемы. В основу пастеризатора молока положен гидродинамический нагревател, что дает возможность превратить энергию турбулентной затопленной струи жидкости в тепловую энергию, в результате чего происходит уничтожение бактерий и вирусов всех форм, а также позволяет производить кавитационную обработку для повышения пищевой ценности продукта.

Анализ последних исследований. Значительное внимание процессам воздействия звуковых и ультразвуковым колебаниям в жидкости уделялось такими исследователями, как Резник Н.Е. [2] в публикации «Процесс воздействия звуковых и ультразвуковых колебаний в жидкости на микробиологические объекты», Эльпинер И.Е. «Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие» [4]. Такая проблема, как детанутрация сывороточных белков, является актуальной в современном мире [5], поскольку позволяет проследить пищевую ценность молока, а также нахождение и уничтожение бактерий и вирусов.

Цель работы – получить регрессивную зависимость, характеризующую процесс денатурации сыворочных белков.

Основная часть. Процесс пастеризации молока определяется четырьмя параметрами: t – температура пастеризации; x – время

выдержки; y – общее содержание белков; z – содержание сывороточных белков.

Целевой функцией процесса является процент денатурации сывороточных белков f , который показывает функция

$$f = f(t, x, y, z) \quad (1)$$

Опытные значения режимных параметров находились в пределах:

$$\begin{aligned} \dots &= t_1 \prec t \prec t_2 = \dots \\ \dots &= x_1 \prec x \prec x_2 = \dots \\ \dots &= y_1 \prec y \prec y_2 = \dots \\ \dots &= z_1 \prec z \prec z_2 = \dots \end{aligned}$$

Первый этап построения регрессии (1) состоял в нахождении значений безразмерных переменных опытных данных по формулам:

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{2t - t_1 - t_2}{t_2 - t_1}; x_2 = \frac{2x - x_1 - x_2}{x_2 - x_1}; \\ x_3 &= \frac{2y - y_1 - y_2}{y_2 - y_1}; x_4 = \frac{2z - z_1 - z_2}{z_2 - z_1}; \end{aligned} \quad (2)$$

Замена переменных (2) позволяет искать функцию (1) в виде $f = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$, у которой все переменные принимают значения в интервале:

$$\begin{aligned} -1 &\prec x_i \prec 1; \\ x_i &= 1; 2; 3; 4. \end{aligned}$$

При таком интервале изменения переменных упрощается отсев малозначительных коэффициентов полиномиальной модели целевой функции. Полиномиальная модель была представлена квадратической гиперповерхностью второго порядка

$$f = \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \alpha_i x_i^2 + \sum_{i=1}^4 b_i x_i. \quad (3)$$

Отсутствие в формуле (3) произведений $x_i x_j$ при $i \neq j$ объясняется допущением о независимости действующих факторов. Вычисление коэффициентов α_i и b_i выполнялось методом наименьших квадратов (МНК). Для этого решалась система линейных уравнений:

$$\begin{aligned} N\alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{i\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{i\gamma} \right) \cdot b_i &= \sum_{\gamma=1}^N f_{\gamma}; \\ \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{1\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{1\gamma}^2 \cdot x_{i\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{1\gamma}^2 \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot b_i &= \sum_{\gamma=1}^N x_{1\gamma}^2 \cdot f_{\gamma}; \\ \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{2\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{2\gamma}^2 \cdot x_{i\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{2\gamma}^2 \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot b_i &= \sum_{\gamma=1}^N x_{2\gamma}^2 \cdot f_{\gamma}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{3\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{3\gamma}^2 \cdot x_{i\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{3\gamma}^2 \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot b_i = \sum_{\gamma=1}^N x_{3\gamma}^2 \cdot f_{\gamma} ; \\
& \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{4\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{4\gamma}^2 \cdot x_{i\gamma}^2 \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{4\gamma}^2 \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot b_i = \sum_{\gamma=1}^N x_{4\gamma}^2 \cdot f_{\gamma} ; \quad (4) \\
& \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{1\gamma} \right) \cdot \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{1\gamma} \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{1\gamma} \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot b_i = \sum_{\gamma=1}^N x_{1\gamma} \cdot f_{\gamma} ; \\
& \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{2\gamma} \right) \cdot \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{2\gamma} \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{2\gamma} \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot b_i = \sum_{\gamma=1}^N x_{2\gamma} \cdot f_{\gamma} ; \\
& \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{3\gamma} \right) \cdot \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{3\gamma} \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{3\gamma} \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot b_i = \sum_{\gamma=1}^N x_{3\gamma} \cdot f_{\gamma} ; \\
& \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{4\gamma} \right) \cdot \alpha_0 + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{4\gamma} \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{\gamma=1}^N x_{4\gamma} \cdot x_{i\gamma} \right) \cdot b_i = \sum_{\gamma=1}^N x_{4\gamma} \cdot f_{\gamma} ;
\end{aligned}$$

Здесь x_{ij} – значение i – й безразмерной переменной в γ – й строке плана эксперимента; γ – номер опыта; N - число опытов.

Значение сумм в скобках и сумм в правых частях (4) даны в матрицах системы уравнений МНК (табл. 1).

Таблица 1

Матрица уравнений МНК

$$\begin{aligned}
\underset{\sim}{C} := & \begin{pmatrix} 12.00 & 4.50 & 6.12 & 3.83 & 3.83 & 2.00 & 2.91 & 1.04 & 1.30 \\ 4.50 & 3.38 & 2.37 & 2.10 & 2.10 & 1.25 & 2.05 & -0.63 & -0.57 \\ 6.12 & 2.73 & 5.53 & 2.29 & 2.29 & 0.45 & 4.26 & -0.11 & -0.11 \\ 3.83 & 2.10 & 2.29 & 2.35 & 2.35 & 1.15 & 0.93 & 0.16 & 0.17 \\ 3.83 & 8.10 & 9.72 & 13.35 & 13.35 & -2.85 & -10.01 & 11.16 & 11.17 \\ 2.00 & 1.25 & 0.45 & 1.15 & 1.15 & 4.50 & -0.73 & -2.52 & -2.39 \\ 2.91 & 2.05 & 4.26 & 0.93 & -1.56 & 0.73 & 6.12 & -1.88 & -1.91 \\ 1.04 & -0.63 & -0.11 & 0.16 & 0.16 & -2.52 & -1.88 & 3.83 & 3.80 \\ 1.30 & -0.57 & -0.11 & 0.17 & 0.17 & -2.39 & -1.91 & 3.80 & 3.83 \end{pmatrix} \\
D := & \begin{pmatrix} 33.00 \\ 15.50 \\ 18.79 \\ 11.08 \\ 11.08 \\ 13.70 \\ 14.49 \\ -8.50 \\ -7.62 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Решение матричного уравнения

$$CX = D$$

(5)

в системе MATLAB дает значения коэффициентов a_i и b_i .

Таким образом, получено уравнение регрессии

$$\begin{aligned}
f = & 3,6837 - 0,2429x_1^2 + 2,6358x_2^2 + 0,7778x_3^2 - 0,1353x_4^2 - 4,2049x_1 - \\
& - 4,2564x_2 - 9,8483x_3 + 1,7957x_4 \quad (6)
\end{aligned}$$

Экспериментальные данные и результаты расчётов по формуле (6) приведены в табл. 2.

Исходное молоко до пастеризации содержало 3,15% белков, в том числе сывороточных (альбумин и глобулин) – 0,38%. Данные о

степени денатурації сывороточних білків при нагріві молока приведені в табл. 2.

Таблиця 2
Результати досліджень по впливу ступеня нагріву молока на вміст сывороточних білків в ньому

№	Температура пастеризації, °С	Время выдержки, с	Содержание белков в молоке, %		Процент денатурации сывороточных белков, f	Расчётное значение, \bar{f}	Δf	Квадратичная погрешность
			общее	сывороточных				
Исходное молоко			3,15	0,38				
1	65	5	3,15	0,38	-	-	-	-
2		10	3,15	0,38	-	-	-	-
3		20	3,15	0,38	-	-	-	-
4		30	3,15	0,38	-	-	-	-
5		60	3,145	0,375	1,3	1,6745	0,3745	0,0500108
6	70	5	3,15	0,38	-	-	-	-
7		10	3,15	0,38	-	-	-	-
8		20	3,15	0,38	-	-	-	-
9		30	3,148	0,378	0,5	-0,084	-0,584	выброс
10		60	3,142	0,372	2,1	1,7093	-0,391	0,0522517
11	75	5	3,15	0,38	-	-	-	-
12		10	3,15	0,38	-	-	-	-
13		20	3,145	0,375	1,3	1,8163	0,5163	0,0807987
14		30	3,140	0,37	2,6	3,05	0,45	0,0217666
15		60	3,137	0,367	3,4	3,1209	-0,279	0,0079983
16	80	5	3,15	0,38	-	-	-	-
17		10	3,148	0,378	0,5	0,5595	0,0595	0,011301
18		20	3,141	0,371	2,4	2,2821	-0,118	0,0026708
19		30	3,137	0,37	3,4	3,4595	0,0595	0,0002962
20		60	3,132	0,362	4,7	4,6545	-0,046	0,0000957
21	85	5	3,15	0,38	-	-	-	-
22		30	3,132	0,362	4,7	4,4036	-0,296	0,004532
23		60	3,127	0,357	6,1	6,31	0,21	0,0011076

Среднеквадратичная погрешность отклонения расчётных данных от опытных равна 14%. Поэтому формулу можно применить для удовлетворительной оценки режимов пастеризации.

Так были получены следующие оценки:

- оптимальная температура пастеризации

$$x_{o1} = -0,22, \quad t_{o1} = 72,78^{\circ} \text{C};$$

- оптимальное время выдержки

$$x_{o2} = -0,24, \quad 26 \text{ с};$$

- оптимальное общее содержание белков

$$x_{o3} = -0,14, \quad 3,137\%;$$

- оптимальное содержание сывороточных белков

$$x_{03} = -0,17, \quad 0,367\%.$$

Вывод. На основе обработки результатов эксперимента установлено, что оптимальная температура пастеризации молока 72,78°C и оптимальное время 26 с.

Литература

1. Пат. на корисну модель №21860. Україна, МПК (2006) А23С 3/00. Гідродинамічна установка кавітаційного пастеризатора молока / Г.Є. Топілін, В.Б. Сенік. – Опубл. 10.04.2007; Бюл. №4. – 4 с.
2. Резник Н.Е. Процесс воздействия звуковых и ультразвуковых колебаний в жидкости на микробиологические объекты / Н.Е. Резник // Теоретические и экспериментальные исследования аппаратов для обработки молока на фермах. – М., 1969. – Вып. 59. – С. 91–119.
3. Сенік В.Б. Процес кавітації в теплогенераторі / В.Б. Сенік // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2007. – Вип. 2(41). – С. 203–205.
4. Эльтинер И.Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие / И.Е. Эльтинер. – М. : Наука, 1963. – С. 11–21.
5. Юсубов Ф.М. Совершенствование технологии и средств первичной обработки молока на доильно-молочной линии при привязном содержании коров в условиях Азербайджанской республики: дис. ... канд. техн. наук / Юсубов Ф.М. – Гянджа, 1991. – 160 с.

ПРОГНОЗ ДЕНАТУРАЦІЇ СИРОВАТКОВИХ БІЛКІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РЕЖИМУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ

Корлюк С.С., Сенік В.Б.

Анотація – основу пастеризатора молока покладено гідродинамічний нагрівач – пристрій, який перетворює енергію турбулентного затопленого струменя рідини в теплову енергію (нагрівання молока), який забезпечує знищення бактерій і вірусів всіх форм, одночасно здійснює кавітаційну обробку молока для підвищення харчової цінності молока.

PREDICTION OF DENATURIZING OF WHEY ALBUMENS DEPENDING ON MODE OF THE PASTEURIZATION

S. Korlyuk, V. Senik

Summary

A hydrodynamic heater – device which converts energy of the turbulent flooded stream of liquid into thermal energy (heating of milk) is fixed in basis of pasteurizer of milk, which provides elimination of bacteria and viruses of all of forms, simultaneously carries out cavitation treatment of milk for the increase of its food value.